

視線を用いた多肢選択問題の回答プロセスと確信度の分析手法の実験的考案

Experimental Study for Proposing a Method to Analyze Processes in Solving Multiple-Choice Problems and Convictions Based on Eye-movements

小島一晃^{*1} 村松慶一^{*1} 松居辰則^{*1}
 KOJIMA Kazuaki MURAMATSU Keiichi MATSUI Tatsunori

^{*1}早稲田大学人間科学学術院
 Faculty of Human Sciences, Waseda University

Recently, the research area of intelligent educational systems has addressed development of methods for exploring data from learners and their situations, and understanding of behaviors and mental states of the learners by adapting the methods. One useful data in exploring learners' mental states is eye-movements. Due to difficulty in stably obtaining and analyzing eye-movement data, however, it is difficult to immediately understand learner states from such data. To estimate the learner states from eye-movements, models describing processes of eye-movements must be provided depending on structures of learning tasks. For the goal of developing such models, the current study experimentally obtained eye-movement data in problem solving. In our experiment, participants were asked to answer multiple-choice problems and evaluate convictions for answers of the problems. The data obtained in the experiment revealed that eyes of the participants moved from texts to choices in regular order in initial states of problem solving when convictions were high, whereas transitions of their eyes among choices varied when convictions were low. Accordingly, it indicated that convictions for problems can be estimated based on transition patterns of eyes in initial stages.

1. はじめに

近年の知的学習支援に関する研究においては、学習者の様々なデータを取得し、それらを探索・検討する手法の開発と、それら手法を適用して学習者とその状況の理解に多面的にアプローチする試みが盛んになっている [Baker 2009, Romero 2007]。このような研究の特徴は、システムの操作ログ、顔画像、生理指標などの多岐に渡るデータを用いて、学習者が持つ知識や学習対象に対する理解とは異なる側面をターゲットとしている点にある。そのターゲットの例には、自信や興味、困惑などといった情動状態 [Arroyo 2009, Muldner 2009] や、適切な学習活動を行わずにシステムから答えを引き出そうとする不適切な行動 [Baker 2009]、行き詰まりや迷い等の異常状態 [堀口 2010, 中村 2010, 植野 2007] などが挙げられる。学習者の心的状態を自動的に推定・診断することには、e-Learning システムでの非同期学習環境において教師が学習者の状況を把握したり、システムによる支援的介入をより洗練化させることが期待される。

人の心的状態を知る上で有効と考えられているデータのひとつに、視線がある。視線は人の高次認知処理を観察する上で有用であるが、安定したデータの採集が困難であり、データの分析手法が確立していないという問題点を持っている [大野 2002]。したがって、視線データに基づいて人の問題解決を分析し、その心的状態を診断する手法を確立するためには、あらかじめ視線データを収集し、その傾向を把握しておく必要がある。例えば [Salvucci 2001] は、方程式の解決、文章読解、メニュー選択を対象として、実行された認知プロセスを視線データから自動推定する手法を提案しているが、この手法は課題構造に沿った視線の推移プロセスに関するモデルの構築が必要である。

本研究では、学習者の視線データから心的状態を推定する手法を考案することを目的とし、問題解決における学習者の回

答プロセスの実験的記述を試みた。一般的な e-Learning システム上での学習に適用可能であり、かつ、課題領域に依存しない知見を提供するために、課題には知識の想起のみを要求する多肢選択問題を採用した。また、心的状態には回答への確信度を対象とし、問題解決における視線データの特徴から確信度を推定する方法についての検討を行った。

2. 実験

本実験では、参加者に多肢選択問題への回答と、回答に対する確信度の評定を求めた。その際には参加者の視線データを計測し、視線データの特徴と確信度との関係を分析した。

2.1 材料と課題

本実験で参加者に与えた課題は、一般常識や雑学に関する四択問題 30 問であった。参加者の問題文の読解と解の探索の行動のみを観察するために、情報の統合や推論等の心的処理を必要としない問題として、著者らが作成した。

各問題は、著者らが作成したプログラムにより、PC モニタの全画面に提示された。図 1 に問題提示の画面の例を示す。プログラムはまず最初に「次の問題に進む」というボタンを問題文が提示される位置に表示する。参加者がこのボタンをクリックすると、問題が提示される。マウスポインタが入った選択肢は赤字で表示され、この時にマウスをクリックすることで、その選択肢が回答として選択される。参加者が回答を行うと、続いてその問題についてのアンケート画面が表示される。このアンケートでは、1) 答えだと思った選択肢を正しく選んだか否か、2) 答えをどの程度知っていたか、3) 各選択肢がどの程度答えである / 答えではないかと思っているかについての回答が求められる。アンケート項目の 2 では、「選択肢なしでも回答できた (再生可)」「選択肢を見て答えが分かった (再認)」「答えは分からないが、選択肢から推測した (推測)」「答えが全く分からない (勘)」の 4 つからの回答を求める。3 では 4 つの選択肢それぞれについて、「絶対に答えである / 答えではない」

「多分答えである / 答えではない」「答えであるか否かの判断ができない」の評価を求める。

長野県で1964年に誕生したりん
この品種は？

1. アルプス乙女
2. 陸奥
3. シナノレッド
4. つがる姫

図 1: 問題提示の画面

2.2 手続きと分析

本実験では、参加者は PC モニタ (画面解像度 1280 × 1024) が設置された机に座り、マウスを使って四択問題にできるだけ素早く正確に回答するように教示が与えられた。参加者はまず練習課題として、上述のプログラムを使用して 1 題の問題とアンケートに回答した。その後、本課題として 30 題に回答した。参加者が本課題に従事している間、ナックイメーজテクノロジー社製の EMR-AT VOXER を用いて視線を記録した。記録のサンプリングレートは 60 フレーム/毎秒であり、視線データは PC モニタ上の位置の x, y 座標値 (ピクセル) として取得された。

参加者の問題回答データは、アンケートに基づいてグループ分けされた。問題回答のカテゴリは、アンケート項目 3 において「答えではない」と評価された選択肢の数により、「択一回答 (答えではないと評価された選択肢が 3 つ)」、「二択回答 (2 つ)」、「三択回答 (1 つ)」、「全択回答 (なし)」のいずれかに決定された。グループは、このカテゴリとアンケート項目 2 の熟知度とを組み合わせて作成された。

参加者の問題回答のプロセスは、視線データの y 軸座標値によって分析された。モニタ画面上では、問題文が y 軸座標値 96-256 ピクセル、4 つの選択肢がそれぞれ 352-440, 496-584, 640-728, 784-872 ピクセルの範囲に提示されるため、これに基づいて参加者の視線の推移を記述し、その特徴を探索した。規範的に考えると、回答の初期段階ではまず問題文を読み取り、その後選択肢を 1 から順に 4 へと悉皆走査するプロセスが現われることが想定される。最初に問題文と全ての選択肢に視線が推移するまでのプロセス (初期走査と呼ぶ) に特に注目し、確信度との関係を検討した。なお、視線データの分析にあたっては、事前に瞬きのカットとスムージングの処理を行った。

3. 結果

本実験には、一般大学生 9 名が参加した。このうち、プログラム操作の不備により問題回答データを取得できなかった 1 名を除外し、8 名のデータを分析の対象とした。

3.1 問題回答のグループ

参加者 8 名による問題回答データは合計 240 であり、そのうち択一回答は 42.9%、二択回答は 21.3%、三択回答は 11.3%、24.5%であった。図 2 に、問題回答カテゴリ毎の各熟知度の占める割合を示す。以後の分析では、問題回答カテゴリと熟知度

によるグループに従ってデータの分類を行うが、その際はデータ数が十分であるもののみを対象とし*1、少ないものは除外する。

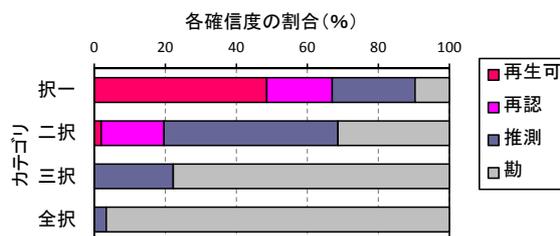


図 2: 問題回答カテゴリ毎の各熟知度の割合

択一回答のうち、再生可であるものは最も高い確信を持つ回答であり、再認はその次に高い確信を持つ回答、推測は消去法などによる、確信の高くない回答であると考えられる。そして、二択・三択回答の推測や勘はさらに確信が低く、全択回答の勘は全く確信のない当て推量であると推測される。実際の正答率も、図 3 に示すように、上記の仮定による確信の度合いにともなって低くなっている。

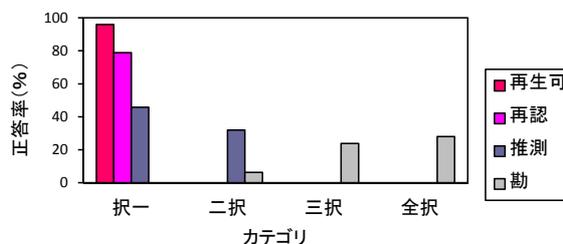


図 3: 正答率

3.2 問題回答プロセス

図 4 に参加者の視線データの例を示す。各フレームにおける視線位置の y 軸座標値により、参加者の視線を推移を図から読み取ることができる。参加者は最初に問題文を約 4.5 秒間 (270 フレーム / 60 フレーム毎秒) 読み、一度選択肢 1 を見てから再度問題文に視線を移し、選択肢 2, 3, 4 の順番で全ての選択肢を確認したことが分かる。その後、選択肢を 1, 2, 1, 3, 4 の順に見たあと、最終的に選択肢 2 を回答として選択している。

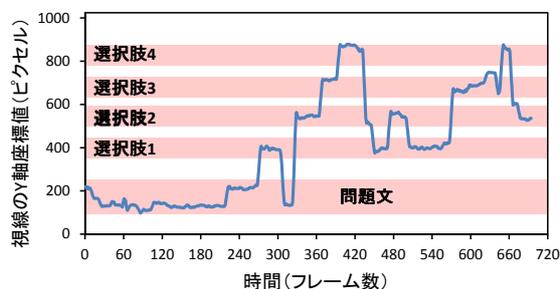


図 4: 参加者の視線データの例

上述の例のように、問題回答中の問題文・選択肢への視線の推移を記述し、その特徴を検討した。この分析にあたっては、

*1 具体的には択一・再生可、択一・再認、択一・推測、二択・推測、二択・勘、三択・勘、全択・勘である

視線データの事前処理を行った後、視線の位置情報をロストしたフレームが全フレームに占める割合が5%を超えるデータを、不良データとして除外とした。

3.2.1 問題文・選択肢への視線の推移

図5に、問題回答中における問題文・選択肢への視線の推移回数の平均を示す。基本的には確信度が低いグループほど推移回数が多くなる傾向にあるが、最も確信度が低い全択・勘では推移回数が若干少なくなっている。

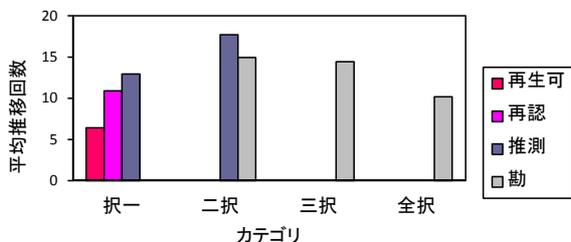


図5: 問題文・選択肢への視線の推移回数

上述の結果より、確信度が低くなると基本的には視線の推移回数が増えることが分かる。このことは、問題回答にかかる時間にも反映される。つまり、確信度が低くなると回答時間も長くなるということであり、回答時間の平均は択一・再生可で3.9秒、択一・再認で6.7秒、択一・推測で9.5秒、二択・推測で13.1秒、二択・勘で10.4秒、三択・勘で11.4秒であった。また、全択・勘では7.8秒であり、若干低くなるという点においても、図5の結果と同じ傾向であった。そこで、回答のプロセスに確信度による違いがないか、特に初期走査に注目して検討した。

3.2.2 初期走査の特徴

初期走査における参加者の視線の推移には、下記のようなパターンが観察された。

1. 単純悉皆走査

最初に問題文を読んだ後、選択肢を1から4へと順に悉皆走査をしたパターンである。

2. 選択肢先読み後に悉皆走査

最初に問題文を読み、選択肢の一部に一度推移した後で問題文に復帰し、その後に選択肢を順に悉皆走査したパターンである。図6にこの初期走査を含む視線データの例を示す。

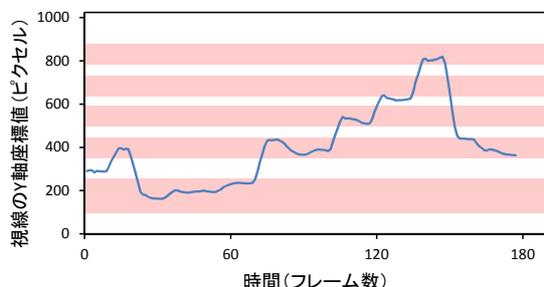


図6: 選択肢先読み後に悉皆走査を含む視線データの例

3. 問題文振り返りを含む走査

最初に問題文を読んだ後、選択肢を1から4へと順に走査するが、その途中で問題文への復帰を含むパターンで

ある。図4の例における初期走査では、問題文、選択肢1、問題文、選択肢2から4の順に視線が推移しており、このパターンに相当する。

4. 一部欠落した走査

基本的なパターンは上記の1から3のいずれかであるが、一部の選択肢への視線の推移が見当たらないパターンである。例えば図7のように、問題文、選択肢2,3,4の順に視線が推移した後、選択肢2を回答として選択し、選択肢1には視線が留まらない、といったケースである。

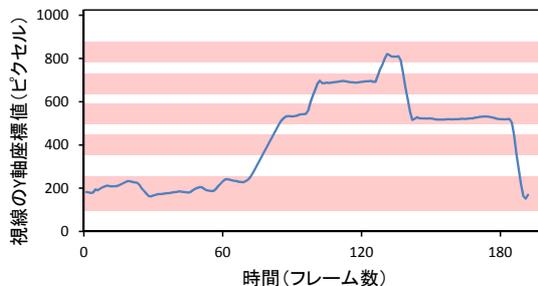


図7: 一部欠落した走査を含む視線データの例

5. 走査打ち切り

最初に問題文を読んだ後、選択肢を1から順に悉皆走査するが、全ての選択肢を見る前に回答をしたパターンである。

6. その他

上記に当てはまらないパターンである。初期走査において選択肢を1から4へと順に走査する推移が観察されないケース、ということになる。

図8に、問題回答のグループ毎の各初期走査パターンの割合を示す。図に示されるように、確信度が高い択一・再生可や択一・再認では8割が1から5のいずれかのパターンに分類されたのに対し、確信度が低くなるとその割合が低くなる。この結果より、確信度が低くなると、選択肢を1から4へと順に走査する行動が減少する傾向があることが示された。

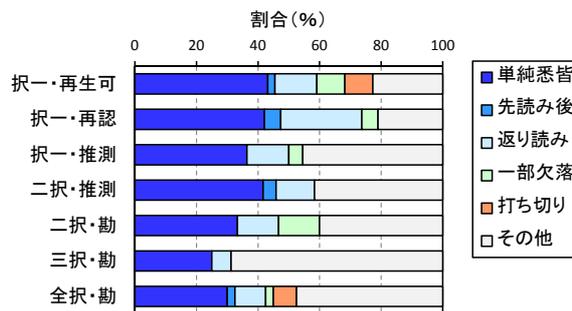


図8: 各初期走査パターンの割合

図9に、1から5のパターンに当てはまらない、その他の初期走査を含む視線データの例を示す。図9には2題の問題回答における視線データが提示されているが、いずれも初期走査において視線が選択肢1から4へと順に推移するのではなく、選択肢1から3に推移した後で選択肢2に戻るといったように、複雑な推移パターンを示している。

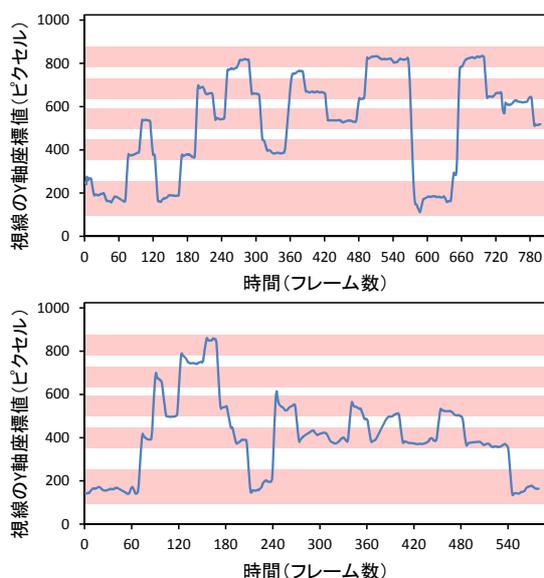


図 9: その他の初期走査を含む視線データの例

4. 考察

前節の結果から、参加者の問題回答に対する確信度が低くなると、初期走査において選択肢を 1 から順に走査する行動が減少することが明らかになった。多肢選択問題に回答するためには、まず問題文を読み取って理解し、その後全ての選択肢を読み取ることが必要となる。そのため、規範的に考えると、問題文から選択肢を順に走査する視線の推移が回答プロセスの初期に出現するはずである。しかし、確信度が低い場合は、このような初期走査が減少し、視線が選択肢間を複雑に推移するようになる。これは、問題文を読んだ段階では十分に問題が理解できない、あるいは、回答が分からないケースにおいて、選択肢の読み取りが問題理解の補足的な行為になっているのではないかと推測される。すなわち、確信度が低い際は、選択肢の走査は答えを探す行動とは限らない可能性がある、ということである。この点については、さらなる検証が必要である。

上述の通り、初期走査の段階において規範的な視線の推移が出現しない場合、問題に対する確信の度合いが低いと仮定すると、問題を読み取る初期プロセスにおいて確信度を早期に推定することができる。すなわち、初期走査における規範的な視線の推移パターンのモデルを構築し、これに合致するか否かによって、確信度を推し量るということである。この方法であれば、[Salvucci 2001] の手法など、既存のものを適用することで実現が可能であると考えられる。

なお、前節で挙げた視線の推移パターンの 4 のように、本実験では特定の選択肢への視線の停留が認められないケースが観察された。しかし、視線の移動範囲に含まれている選択肢を一切見ることなく除外したと考えるのは不自然であろう。パターン 4 のケースにおいては、視線を停留させて丁寧に読み取ることなく、周辺視野での視認において除外された選択肢があったのではないかと推測される。しかし、そのことを視線データから推定することはできない。このパターン 4 には、初期走査だけでは確定できず、回答を完了するまでのプロセスを参照しなければならないという問題がある。この点は、視線データを扱う上での限界ということができるだろう。

5. まとめ

本研究では、多肢選択問題への回答を対象課題とし、学習者の視線データから回答への確信度を推定する方法についての実験的検討を行った。その結果、回答への確信度が低くなると、初期走査において選択肢を読み取る際、選択肢を 1 から順に走査する行動が減少することが判明した。この結果から、初期走査のプロセスを規範的なプロセスと比較する方法により、確信度の推定が実現できる可能性が示唆された。

参考文献

- [Arroyo 2009] Arroyo, I., Cooper, D. G., Burleson, W., Woolf, B. P., Muldner, K., and Christopherson, R.: Emotion Sensors Go To School, Proceeding of the 14th International Conference on Artificial Intelligence in Education, pp. 17-24 (2009)
- [Baker 2009] Baker, R. S. J. D., and Yacef, K.: The State of Educational Data Mining in 2009: A Review and Future Visions, Journal of Educational Data Mining, Vol. 1, No. 1, pp. 3-17 (2009)
- [堀口 2010] 堀口祐樹, 小島一晃, 松居辰則: MRA を用いた学習者の Low-Level Interaction 特徴からの行き詰まりの推定手法, 第 58 回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会, pp. 1-6 (2010)
- [Muldner 2009] Muldner, K., Christopherson, R., Atkinson, R., and Burleson W.: Investigating the Utility of Eye-Tracking Information on Affect and Reasoning for User Modeling, Proceedings of the 17th International Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization, pp. 138-149 (2009)
- [中村 2010] 中村和晃, 角所考, 村上正行, 美濃導彦: e-learning における学習者の顔動作観測に基づく主観的難易度の推定, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J93-D, No. 5, pp. 568-578 (2010)
- [大野 2002] 大野健彦: 視線から何がわかるか-視線測定に基づく高次認知処理の解明, 認知科学, Vol. 9, No. 4, pp. 565-579 (2002)
- [Romero 2007] Romero, C., and Ventura, S.: Educational Data Mining: A Survey from 1995 to 2005, Expert Systems with Applications, Vol. 33, pp. 135-146 (2007)
- [Salvucci 2001] Salvucci, D. D.: An Integrated Model of Eye Movements and Visual Encoding, Journal of Cognitive Systems Research, Vol. 1, No. 4, pp. 201-220 (2001)
- [高木 2000] 高木啓伸: 視線の移動パターンに基づくユーザの迷いの検出-効果的な作業支援を目指して, 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 5, pp. 1317-1327 (2000)
- [植野 2007] 植野真臣: e ラーニングにおける所要時間データの異常値オンライン検出, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J90-D, No. 1, pp. 40-51 (2007)